

# Prise en compte des changements climatiques dans la distribution et l'évolution des êtres vivants

Conférence donnée à la Société des sciences le 13 II 2007

Sylvain Gaudin

5 boulevard Aristide Briand  
51000 Châlons-en-Champagne  
sylvain.gaudin@orange.fr

**Résumé.** Le changement climatique lié à la production de gaz à effet de serre a déjà une influence importante sur les animaux et les végétaux. Des migrations d'espèces ou des changements de comportement sont dès à présent constatés. Les modèles climatiques prévoient une augmentation des températures et des modifications conséquentes du climat. Les risques inhérents pour la faune et la flore sont très importants. Les solutions pour un développement durable sont peu nombreuses et difficiles à mettre en œuvre.

**Mots-clés :** climat, réchauffement, biodiversité.

Le réchauffement climatique a longtemps été discuté voire nié. Désormais, il n'est quasiment plus contesté, au fur et à mesure que le climat actuel et ses évolutions sont mieux connus. Il reste de nombreuses incertitudes en ce qui concerne l'ampleur des phénomènes à venir et les conséquences pour les écosystèmes. Cet article tente d'apporter quelques réponses, notamment en présentant déjà quelques effets des changements globaux et en synthétisant ce qu'annoncent les chercheurs pour les années à venir.

## L'effet de serre

### Définition

Une serre laisse entrer les rayons solaires, mais limite la dissipation de chaleur. C'est pour cela qu'il peut faire rapidement chaud à l'intérieur d'une serre alors que la température extérieure reste plus basse. Un phénomène analogue se produit au niveau de notre atmosphère. Une partie de l'énergie qui arrive depuis le soleil est renvoyée vers l'espace, mais une autre est capturée dans les hautes couches (figure 1).

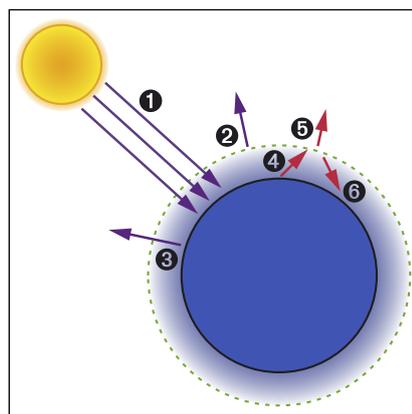


Figure 1 : Une partie de l'énergie envoyée par le soleil [1] repart directement dans l'espace soit en ayant touché les hautes couches de l'atmosphère [2], soit en ayant touché le sol [3]. L'énergie qui est absorbée au niveau du sol induit un rayonnement de chaleur [4]. Une partie de ce rayonnement est renvoyée vers l'espace [5], une autre [6] reste au niveau de la terre en raison de la présence d'une couche de gaz à effet de serre.

Cet effet de serre est nécessaire au niveau de la planète. S'il n'existait pas, la température moyenne au niveau du globe serait de  $-18^{\circ}\text{C}$  au lieu de  $+15^{\circ}\text{C}$  (Le Treut, 2007), ce qui serait nettement moins favorable pour le développement de la vie. Si l'effet de serre est impératif pour les êtres vivants, leur développement et leur survie, c'est son intensification actuelle qui pose problème.

## Les gaz à effet de serre

L'atmosphère est constituée en majeure partie d'azote ( $\text{N}_2$ ) et d'oxygène ( $\text{O}_2$ ). Ces gaz sont neutres en ce qui concerne les rayonnements : ils laissent passer la lumière (rayonnement visible) et la chaleur (rayonnement infrarouge). D'autres gaz absorbent en partie le rayonnement infrarouge et libèrent une partie de la chaleur interceptée vers la terre. Ce sont les gaz à effet de serre. Il s'agit essentiellement de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), du méthane ( $\text{CH}_4$ ), du protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), de l'hexafluorure de soufre ( $\text{SF}_6$ )... Si certains de ces gaz sont naturellement présents dans l'atmosphère ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), leur concentration a évolué en raison des activités humaines. Par exemple, le dioxyde de carbone est produit par la combustion d'énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon), par la déforestation et dans une moindre mesure par l'industrie (fabrication de ciment). Le méthane provient de certaines cultures (rizières), de l'élevage des ruminants, des décharges, des exploitations pétrolières et gazières. La production de protoxyde d'azo-

te est liée aux engrais et à diverses industries chimiques.

Tous ces gaz ne sont pas égaux en ce qui concerne les effets produits. Ainsi, le méthane est vingt et une fois plus puissant que le dioxyde de carbone (c'est-à-dire qu'une molécule de méthane aura un effet de serre égal à vingt et une molécules de dioxyde de carbone). Le protoxyde d'azote est lui trois cent dix fois plus efficace que le dioxyde de carbone. Les gaz fluorés uniquement produits par l'activité anthropique sont eux seize mille fois plus puissants que le dioxyde de carbone !

Ainsi l'effet de serre global dépend à la fois de la quantité de molécules présentes dans la haute atmosphère, mais aussi de leur nature. De manière globale, la figure 2 présente la contribution des différentes molécules à l'effet de serre. Si le gaz le plus médiatique (CO<sub>2</sub>)

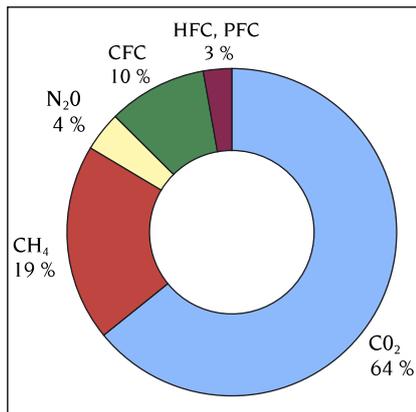


Figure 2. Contribution au réchauffement anthropique de la planète des principaux gaz à effet de serre. CFC : chlorofluorocarbures, HFC et PFC : autres hydrocarbures halogénés. Source GIEC.

arrive bien en tête, il n'est pas le seul en cause. Par exemple, le protoxyde d'azote même produit en faible quantité a un tel pouvoir de maintien de la chaleur que sa part est loin d'être négligeable.

Même si les émissions étaient complètement arrêtées aujourd'hui, l'effet de serre continuerait d'augmenter car il existe un phénomène important d'inertie. En effet, les molécules envoyées dans l'atmosphère peuvent y connaître un séjour plus ou moins long (figure 3). Par ailleurs, les temps d'inertie peuvent être particulièrement longs en ce qui concerne d'autres phénomènes

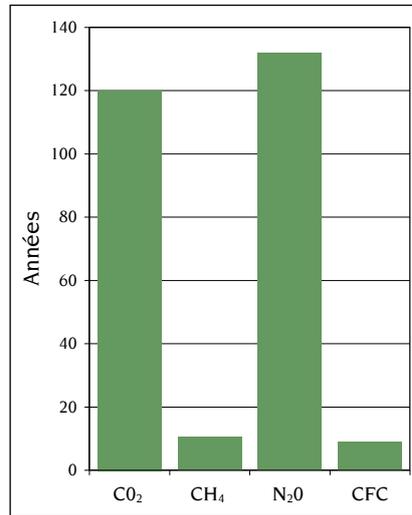


Figure 3. Durée moyenne de séjour dans l'atmosphère des principaux gaz à effet de serre. Source GIEC.

liés. Par exemple, l'évolution du niveau des mers initiée par la fonte des glaciers pourrait se chiffrer en milliers d'années. La dilatation des océans sous l'effet de leur réchauffement pourrait également prendre des siècles.

### Les évolutions climatiques anciennes

L'effet de serre est un des phénomènes qui explique le climat global de la terre, mais il n'est pas le seul. En effet, des données astronomiques interviennent également (variations de l'énergie envoyée par le soleil à la fois sur le long terme, mais aussi à court terme; déformation de l'orbite de la terre; variation de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre...). De même, le volcanisme ou l'impact de météorites peut provoquer des émissions de gaz et de poussières dans l'atmosphère. Certains gaz émis par les volcans comme le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ont un effet refroidissant sur le climat. Les poussières dans l'atmosphère diminuent l'effet du soleil sur la planète. L'albédo de la terre intervient également dans son bilan énergétique. Par exemple, les glaces des pôles renvoient fortement la lumière alors que les forêts

i – L'albédo de la terre est la fraction de l'énergie solaire qui est renvoyée vers l'espace. Il varie entre 0 et 100%. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Par exemple, l'albédo de la neige est de 87%.

l'absorbent la plupart du temps. Un changement de la couverture intervient donc dans la capacité de la terre à emmagasiner la chaleur ou au contraire à la renvoyer vers l'espace.

Les variations des teneurs atmosphériques des gaz à effet de serre ne sont elles-mêmes pas uniquement d'origine anthropique. Ainsi l'apparition des végétaux a petit à petit fait baisser la concentration en gaz carbonique de l'atmosphère et diminuer l'effet de serre.

Au cours de l'ère Quaternaire, une alternance de glaciations et de périodes chaudes a eu lieu. L'analyse des couches de glace polaire permet de reconstituer les concentrations anciennes de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et de les mettre en relation avec l'évolution des températures (figure 4). Il y a des variations dans le même sens des températures et de la concentration en dioxyde de carbone. Les périodes glaciaires correspondent à de faibles taux de CO<sub>2</sub>; les périodes chaudes à des concentrations fortes.

Quelles qu'en soient les causes, le climat a fortement évolué au cours des temps géologiques. La terre est passée par des périodes très chaudes comme au Tertiaire pendant lequel l'Europe a connu un climat tropical ou subtropical (avec des températures moyennes comprises entre 20 et 25°C) (Ozenda, 1994). Ainsi, des genres qui n'existent plus désormais en Europe ont pu être retrouvés dans des couches fossilifères. C'est le cas, par exemple, des genres *Sequoia* et *Metasequoia* ou *Liriodendron* (tulipiers) (Ozenda, 1994). Les glaciations de l'ère Quaternaire ont fait reculer la végétation vers le sud. L'analyse des pollens retrouvés dans les tourbières permet de reconstituer la remontée de la végétation depuis la dernière glaciation.

Les changements climatiques passés sont des facteurs importants pour expliquer la distribution actuelle des êtres vivants. Même si les facteurs expliquant les grandes vagues d'extinction d'espèces sont encore discutés, il semble que les

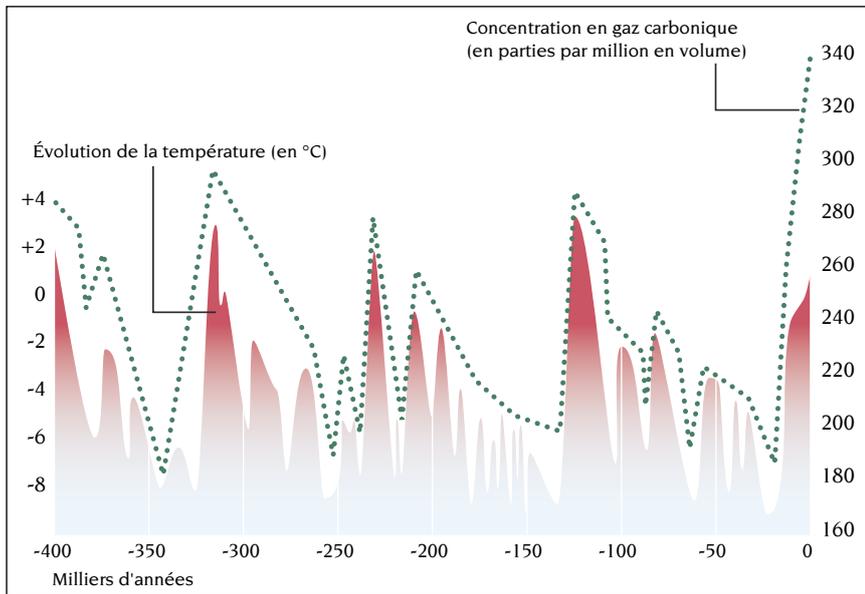


Figure 4. Mise en relation de la concentration en dioxyde de carbone et de la température au Quaternaire. Source GRIDA (Ademe, 2005).

changements de climat les ont aggravées (Debroise, 2007a).

### La mise en cause des activités humaines

Si le climat a toujours évolué sur terre, pour des raisons variées, il apparaît que l'Homme a désormais une influence non négligeable. Les rejets de gaz à effet de serre d'origine humaine sont suffisamment conséquents pour modifier leur concentration dans l'atmosphère. Ainsi, la concentration en dioxyde de carbone atteint désormais 380 ppmv (partie par million en volume) alors qu'elle n'a pas dépassé 300 ppmv depuis plusieurs milliers d'années (figure 4).

Les modèles utilisés pour traduire l'élévation récente des températures (période 1850-2000) ne fonctionnent correctement que si l'on introduit à la fois des paramètres naturels et d'autres liés aux activités humaines (production de gaz à effet de serre). Autrement dit, le réchauffement déjà constaté est imputable au moins en partie aux activités humaines.

### Les évolutions climatiques au cours du XX<sup>e</sup> siècle

Les concentrations de gaz à effet de serre ayant commencé à augmenter depuis le début de l'ère industrielle, il y a déjà eu au cours du siècle

passé des modifications de la température. Ainsi, il est déjà possible de mesurer les changements suivants (source GIEC) :

- au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la température moyenne a augmenté de 0,6°C au niveau mondial ;
- pendant cette même période, la température moyenne de la France s'est accrue d'environ 1°C (cela correspond approximativement à un déplacement moyen du climat de 200 km vers le nord ; Moisselin et Dubuisson, 2007).

De manière générale, l'hémisphère nord se réchauffe plus rapidement que le sud (en raison de la présence de plus de terres émergées que d'océans). Le réchauffement est de plus en plus marqué en allant de l'équateur vers les pôles (Le Treut, 2007).

En ce qui concerne plus particulièrement le climat français, le réchauffement s'est accéléré pour atteindre +0,6°C/10 ans sur la période 1976-2003. Sur la période 1951-2000 les étés sont devenus de plus en plus chauds, le nombre de jours de gel a diminué (Moisselin et Dubuisson, 2007). Il y a de plus en plus de vagues de chaleur en été et moins de vagues de froid en hiver. Les cumuls annuels de précipitations ont augmenté sur les deux tiers nord du territoire avec des contrastes saisonniers marqués, en hausse en hiver et en baisse en été. L'été, les sécheresses ont aug-

### Modèles et modélisation

La modélisation est de plus en plus utilisée dans le domaine de la recherche. Construire un modèle, c'est analyser des données, trouver des relations les reliant et mettre tout cela en équation. Un modèle ne traduit qu'une partie de la réalité (plus ou moins grande, selon sa performance). Il peut servir notamment à mieux comprendre un phénomène ou à tenter de prédire le futur en fonction de scénarios qui seront proposés. L'analyse des résultats obtenus doit toujours se faire en connaissant les limites du modèle utilisé.

Ainsi, un modèle climatique va tenter de retrouver les relations qui existent entre divers paramètres (température de l'océan, mouvements de l'air dans l'atmosphère, taux de recouvrement par la végétation, formation et fonte des glaces, cycle du carbone...). Si ce modèle climatique fonctionne correctement, il est possible d'initier un changement de paramètres (de nouvelles concentrations plus fortes de gaz à effet de serre, par exemple) et de visualiser les évolutions supposées. (Pour en savoir plus : Debroise, 2007b ; Le Treut, 2007 ou [www.manicore.com](http://www.manicore.com)).

menté (source Météo-France). En ce qui concerne les Alpes françaises, la température y a augmenté plus rapidement que dans le reste de la France (entre 1 et 3°C ces quarante dernières années).

### Anticiper, mais comment ?

La visualisation des changements climatiques constatés au siècle dernier conduit rapidement à chercher quelles vont être les évolutions dans les décennies à venir. Comme tout travail d'anticipation, cela est difficile dans la mesure où nous sommes loin de connaître tous les mécanismes climatiques et que de nombreuses données sont encore inconnues. De plus, l'évolution du climat et notamment celle de la température dépendent non seulement des mécanismes climatiques,

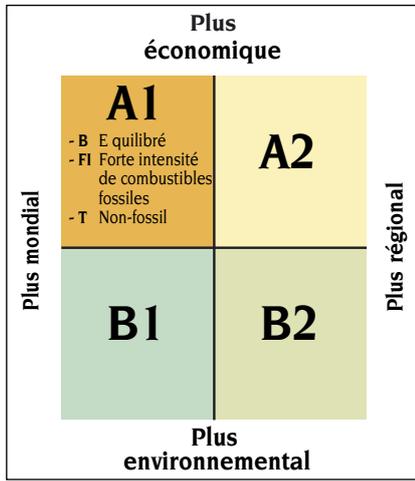


Figure 5. Présentation schématique des principaux scénarios présentés par le GIEC (Source GIEC).

mais aussi des activités humaines (production de gaz à effet de serre, en particulier).

C'est pour cela que deux approches conjointes sont nécessaires :

- essayer, à l'aide de scénarios, de prévoir quelles vont être les activités humaines et notamment en déduire la consommation d'énergie ;
- construire et utiliser des modèles climatiques intégrant les gaz produits par les activités humaines pour anticiper du mieux possible les paramètres (températures, précipitations...) des climats futurs.

### Les scénarios du GIEC

Pour tenter de prévoir les grandes lignes de l'évolution du climat, il est impératif de raisonner sur les activités humaines, celles-ci influant sur la production de gaz à ef-

fet de serre. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a donc réuni des équipes multidisciplinaires (économistes, sociologues, démographes, agronomes, chimistes...) pour essayer de construire des scénarios. Ces scénarios essaient de couvrir une grande diversité de futurs possibles (Monnier, 2007). Il n'est pas possible de dire lequel est le plus probable. Ce sont des hypothèses de travail.

Il existe une multitude de scénarios possibles, quatre (ainsi que leurs variantes) ont été retenus pour faire ensuite des simulations (figure 5). Par exemple, le scénario A1b prévoit une intensification des échanges au niveau mondial, une croissance rapide et peu d'écono-

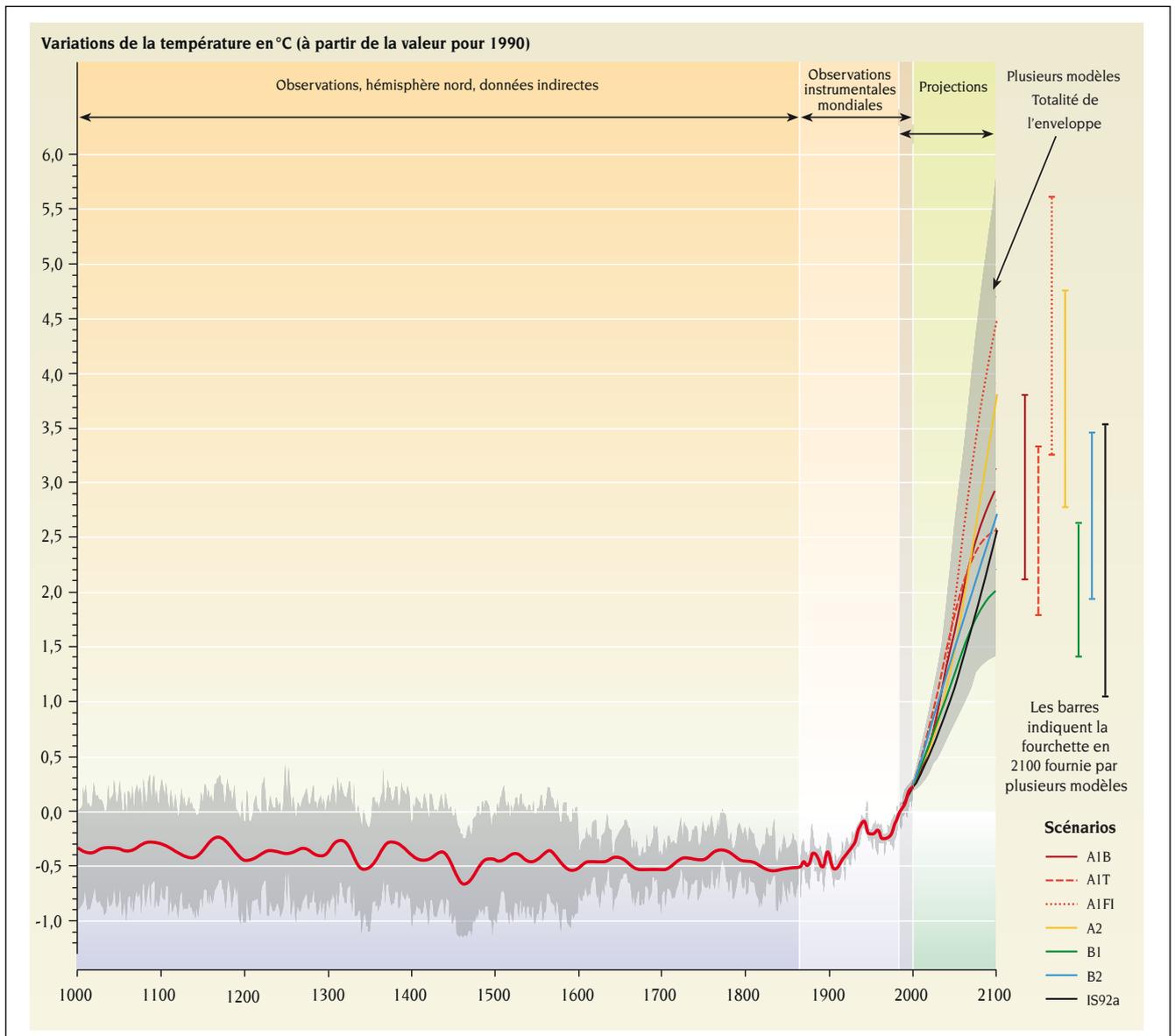


Figure 6. Les données de température anciennes (1000-1860) correspondent à l'hémisphère nord. Elles sont obtenues de manière indirecte (cernes des arbres, coraux, carottes glaciaires, données historiques...). Pour la partie allant de 1860 à 2000, il s'agit de moyennes obtenues à partir de mesures. A partir de 2000, les courbes correspondent à l'application de modèles climatiques en fonction des différents scénarios (Source GIEC).

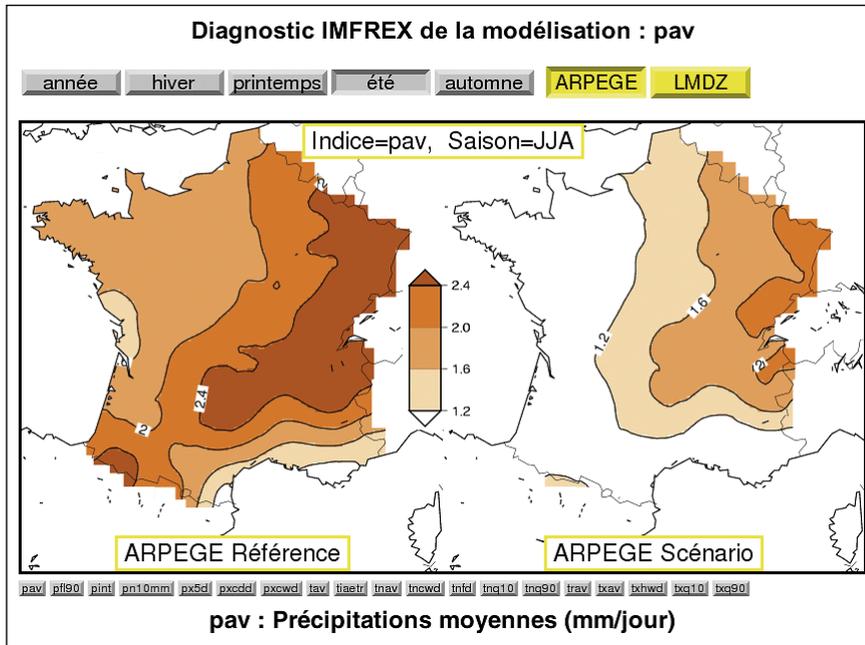


Figure 7. Précipitations moyennes journalières que nous pourrions connaître en 2100 (à droite) par rapport à ce qui se passe actuellement (carte de gauche). Modèle ARPEGE, scénario A2 du GIEC. Source Météo-France (<http://medias.cnrs.fr/imfrex/web/resultats/diagmod/>).

mies d'énergie. Il induit une réduction des inégalités nord-sud, mais aussi une forte émission de gaz carbonique. De son côté, le scénario B2 est construit sur des économies d'énergie importantes (notamment d'énergies fossiles), sur un développement de l'agriculture biologique et il tourne le dos à la mondialisation.

Chaque scénario permet de donner les grandes lignes de la production de gaz à effet de serre au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Ainsi, en appliquant des modèles, on obtient l'évolution de la température résultant de chaque scénario (figure 6). Le faisceau de courbes obtenu indique quoi qu'il arrive une augmentation de température. On obtient ainsi à la fin du siècle une augmentation globale comprise entre +1,5 et +6°C ! Il est actuellement difficile d'être plus précis car d'une part, les modèles utilisés ont toujours une marge d'erreur et ne sont pas nécessairement cohérents entre eux, et d'autre part, une grande marge provient des modèles de développement qui seront retenus. Il n'est d'ailleurs pas exclu que le futur se trouve au-delà de cette fourchette, au-dessous ou au-dessus...

Il faut retenir que le réchauffement est en marche et qu'il ne sera pas possible d'y échapper. Il existe

néanmoins une certaine marge de manœuvre et il est encore possible de limiter certains effets.

### Les modèles climatiques et leurs résultats

La connaissance de la seule augmentation de température ne permet pas d'emblée de connaître toutes les caractéristiques climatiques (variation des températures au cours des saisons, régime des précipitations, occurrence des événements climatiques exceptionnels tels que les canicules ou les inondations...). Ce sont toutes les caractéristiques du climat qui conditionnent notamment les possibilités d'implantation ou de survie des êtres vivants.

Afin de répondre non seulement aux attentes des climatologues, mais également à celles des politiques, des urbanistes, des aménageurs du territoire, des biologistes, des agronomes, des forestiers... des modèles climatiques ont été développés pour informer sur ce que pourra être le climat de ce siècle.

Le début de réchauffement connu au XX<sup>e</sup> siècle (+0,6°C dans le monde et +1°C en France) a déjà un impact significatif sur un certain nombre de paramètres climatiques. Les

modèles climatiques annoncent des changements encore plus marqués pour ce siècle (de l'ordre de plusieurs degrés).

Par exemple, en France le modèle ARPEGE permet avec les hypothèses du scénario A2 du GIEC de produire des cartes comme celle de la figure 7. Selon ces hypothèses, les étés seront plus secs que ceux que nous connaissons actuellement. Les sécheresses seront *a priori* plus fréquentes (le nombre maximal de jours secs consécutifs pourra passer de moins de vingt actuellement à plus de vingt-cinq à la fin du siècle). La température moyenne à l'échelle du territoire pourrait augmenter de 3 à 3,5°C selon ces mêmes données. Un été exceptionnel comme celui de 2003 pourrait devenir courant à la fin du siècle (un été sur deux serait caniculaire). En ce qui concerne les précipitations, c'est leur répartition dans l'année qui serait changée plus que leur hauteur totale. Les fortes précipitations deviendront encore plus fréquentes en hiver et moins fréquentes en été (Moisselin et Dubuisson, 2007).

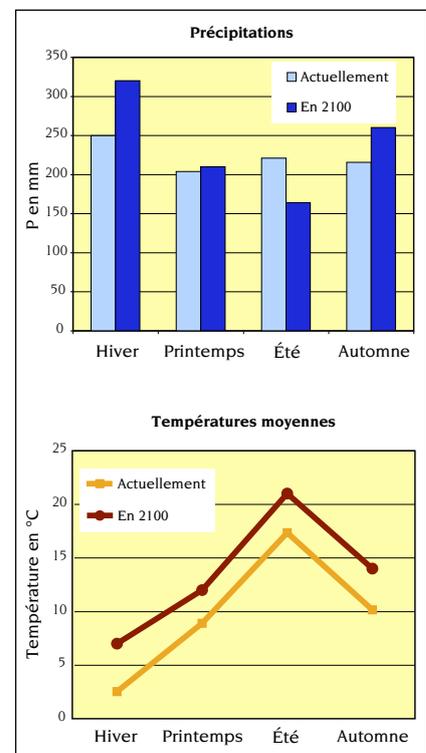


Figure 8. Précipitations saisonnières actuelles et précipitations supposées à la fin du siècle en Argonne (en haut) et températures moyennes actuelles et températures supposées dans un siècle. Modèle ARPEGE, scénario A2 du GIEC.

La figure 8 montre comment pourraient évoluer en un siècle les paramètres climatiques de l'Argonne. Actuellement cette région connaît des températures assez froides et est bien arrosée avec 700 à 950 mm par an en moyenne selon les endroits. La température moyenne annuelle y est légèrement inférieure à 10°C (Perrier *et al.*, 2007).

Si dans le futur, les précipitations annuelles ne devraient pas faiblir, voire un peu augmenter, l'été sera plus sec en Argonne et l'automne ainsi que l'hiver plus arrosés. Quelle que soit la saison, les températures augmenteront. Si le hêtre (*Fagus sylvatica*, L) est actuellement une des essences principales de l'Argonne, son avenir sur ce territoire est incertain (Perrier, 2007).

### Quelques exemples d'espèces déjà sensibles au changement climatique

Presque chaque jour, les médias font état de conséquences du réchauffement climatique (fonte des glaciers, fonte de la banquise, montée des océans, avancement de la date des vendanges, apparition de nouveaux parasites en Europe...). Il est dès à présent également possible de visualiser les premiers effets du réchauffement sur des populations animales ou végétales.

#### Insectes

##### Exemple des odonates

Les odonates (en particulier les anisoptères au vol puissant) sont des insectes qui peuvent facilement se déplacer sur des distances importantes (Grand et Boudot, 2006). Ils peuvent donc réagir rapidement aux modifications climatiques en changeant de site.

La réalisation d'inventaires en Wallonie sur plusieurs années a permis de mettre en évidence l'apparition de libellules d'origine plus méridionale (Goffart et de Schaetzen, 2001). Ainsi, neuf espèces sont désormais de plus en plus fréquentes. Il s'agit du Leste sauvage (*Les-tes barbarus*; Fabricius, 1798), de

l'Agrion à longs cercoïdes (*Cercion lindenii*; Sélys, 1840), de l'Agrion mignon (*Coenagrion scitulum*; Rambur, 1842), de l'Aesche affine (*Aeshna affinis*; Vander Linden, 1820), de l'Anax napolitain (*Anax parthenope*; Selus, 1839), de l'Orthétrum brun (*Orthetrum brunneum*; Fonscolombe, 1837), de la Libellule écarlate (*Crocothemis erythraea*; Brullé, 1832), du Sympétrum méridional (*Sympetrum meridionale*; Selys, 1841) et du Sympétrum à nervures rouges (*Sympetrum fonscolombii*; Selys, 1840). Si au départ, ces espèces à affinités méridionales n'apparaissent que de manière anecdotique dans les relevés, elles sont désormais presque toutes notées chaque année et la majorité se reproduit régulièrement en Wallonie.

Ce phénomène est illustré par la figure 9. La Libellule écarlate (photo 1) est une des espèces méridionales dont l'aire de répartition progresse vers le nord. Des graphiques analogues ont été obtenus pour cinq autres espèces parmi celles citées ci-dessus. Le pic observé en 1983 correspond à une année particulièrement chaude. Il ne s'agit pas alors que d'une fréquentation ponctuelle. La succession d'étés

chauds et secs à partir de 1994 a favorisé l'apparition de plusieurs vagues successives et une implantation plus durable des libellules d'origine méridionale.

Au delà de cette étude réalisée chez nos voisins belges, la progression de la Libellule écarlate est avérée depuis une trentaine d'années (Grand et Boudot, 2006). Cette espèce est même qualifiée « d'indicatrice climatique ». Cette expansion d'espèces pourrait apparaître comme un facteur favorable du réchauffement climatique. Cependant d'autres libellules à distribution boréale comme l'Agrion hasté (*Cœnagrion hastulatum*; Charpentier, 1825) (Goffart et de Schaetzen, 2001) ou la Leucorrhine rubiconde (*Leucorrhinia rubicunda*; L., 1758) (Grand et Boudot, 2006) sont en forte régression. Cependant, il est difficile de discerner la part liée au réchauffement climatique et celle due à la raréfaction des biotopes favorables dans la chute des effectifs, voire la disparition des populations.

#### Le cas de la chenille processionnaire du pin

Un autre exemple de progression d'un insecte liée au réchauffement

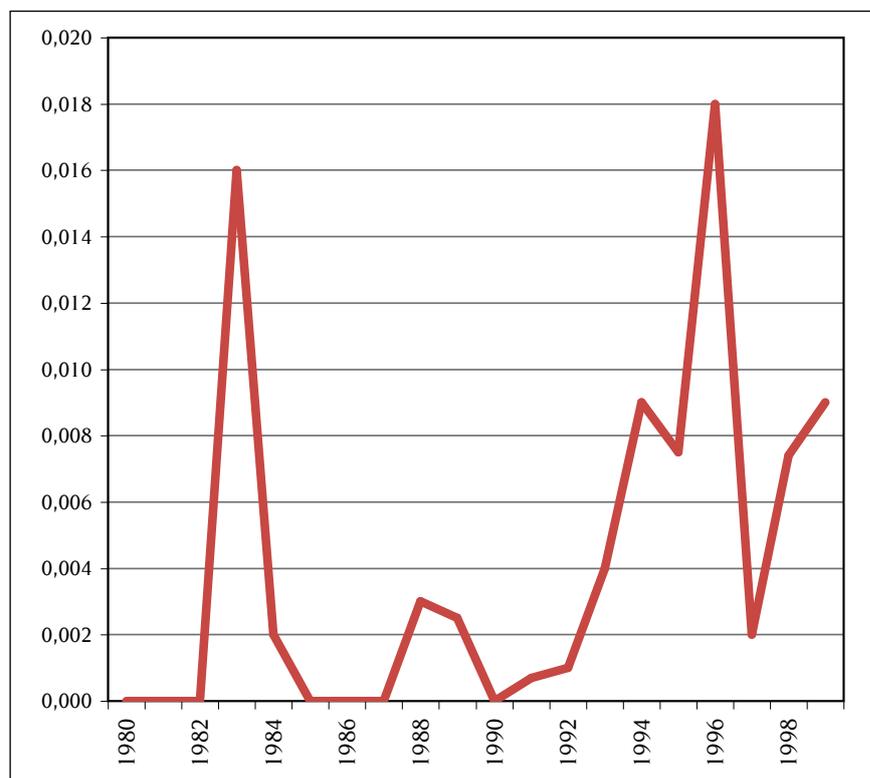


Figure 9. Fréquence d'apparition dans les relevés de *Crocothemis erythraea*. La fréquence correspond au nombre de données correspondant à cette espèce sur le nombre total de données odonatologiques de l'année considérée.

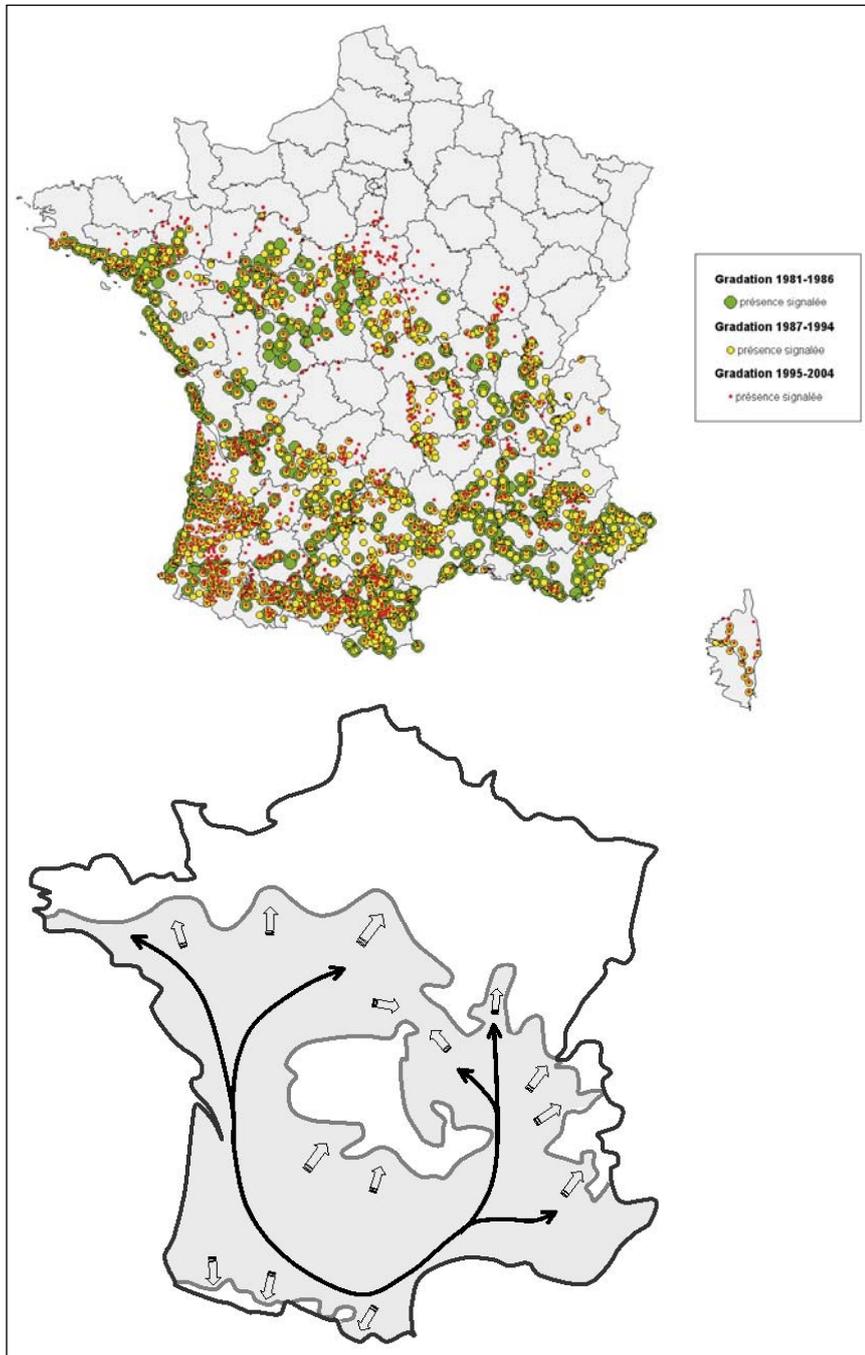


Figure 10 (Rousselet et al., 2005). La première carte en haut présente les zones de présence des chenilles de processionnaires du pin entre 1981 et 2004. La seconde carte (en dessous) traduit la zone de distribution actuelle de la chenille. Les petites flèches correspondent aux expansions récentes. Les grandes flèches noires indiquent les grandes voies de communication entre les populations (établies à partir de marqueurs génétiques).

climatique est fourni par la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*, Schiff). Cette espèce est suivie depuis plusieurs années par le département de la santé des forêts. Outre les dégâts qu'elle peut poser aux pineraies, les poils urticants des chenilles peuvent provoquer des affections graves chez l'homme et chez les animaux.

La figure 10 montre la progression de cette chenille. Cette progression est non seulement latitudinale mais également altitudinale.

Contrairement à d'autres espèces pour lesquelles il n'existe que de fortes présomptions, la progression de la chenille processionnaire a un déterminisme climatique clairement établi (Bouhot-Delduc, 2005; Rousselet et al., 2005). Ainsi, dès que la température du nid dépasse 9°C durant le jour, les chenilles peuvent sortir la nuit suivante pour s'alimenter tant que l'air reste au-dessus de 0°C (Robinet, 2006). Les températures basses sont donc un facteur limitant pour les popula-

tions de processionnaires. Le réchauffement climatique permet ainsi à cette espèce de progresser.

Seules les capacités de dispersion des adultes limitent la progression. La vitesse moyenne de remontée est estimée à plus de 5 km par an. Les modèles utilisés indiquent que Paris pourrait être atteint dès 2020-2025 par cet insecte (Robinet, 2006).

### L'Apollon, une espèce montagnarde en déclin

Si l'exemple de la processionnaire du pin montre que certains insectes profitent du réchauffement climatique, le cas de l'Apollon (*Parnassius apollo*, L.; photo 2) indique que d'autres sont en revanche défavorisés. Ce papillon de jour est protégé au niveau national et classé en annexe IV de la Directive Habitats. Son habitat correspond aux massifs montagneux d'Europe et d'Asie centrale. S'il était autrefois présent dans tous les massifs montagneux de France, il a aujourd'hui disparu des Vosges (depuis 1976), du Forez (depuis 1980), du Vivarais, du Causse noir (depuis 1989).

S'il est là encore difficile de dissocier dans les causes de régression la perturbation des milieux (abandon des pratiques pastorales, embroussaillage, plantation de forêts...) et le climat, il semble établi (Lafranchis, 2000) que le froid hivernal et la couche de neige protectrice sont nécessaires aux jeunes chenilles. Pour les massifs de moyenne altitude (dans les Causse, notamment), l'impossibilité de trouver refuge dans des zones plus élevées lors d'années chaudes expliquerait la disparition des populations (Descimon, 1995).

Il serait possible de multiplier les cas d'insectes pour lesquels le changement climatique a déjà un effet avéré ou supposé. Ces animaux réagissent rapidement aux modifications de leurs milieux de vie. Au-delà des aspects purement naturalistes, l'arrivée de nouveaux insectes peut avoir des conséquences importantes dans les domaines de l'agriculture, de la forêt ou même de la santé humaine.

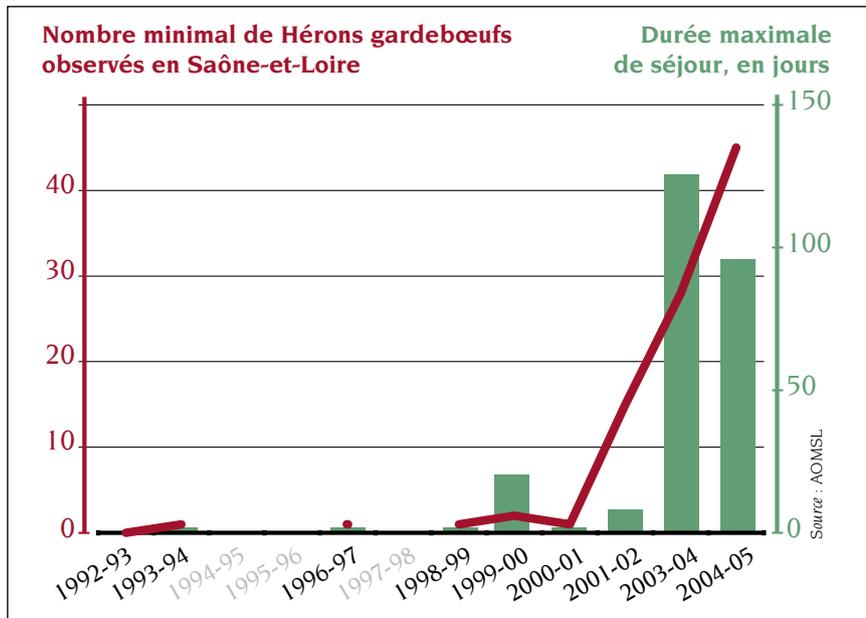


Figure 11. Le Héron gardeboeufs est à l'origine indo-africain. Il est recensé de plus en plus souvent en Saône-et-Loire et sa durée de séjour y augmente.

## Oiseaux

À l'instar des insectes, les oiseaux apparaissent également comme sensibles aux changements climatiques. Les exemples d'oiseaux dont l'aire de distribution s'est agrandie vers le nord ne manquent pas. Par exemple, le Serin cini (*Serinus serinus*) dont l'aire était méditerranéenne se retrouve aujourd'hui jusqu'en Grande-Bretagne, en Scandinavie ou en Finlande. Le Guêpier d'Europe (*Merops apiaster*) a connu également une remontée vers le nord. Le Gardeboeufs (*Bubulcus ibis*) qui dans les années 1950 était surtout camarguais ou espagnol remonte désormais jusqu'en Belgique. Il se reproduit par endroits dans les vallées de la Saône, du Doubs et de la Loire (figure 11). Cette espèce étant sensible au gel et ne supportant que des hivers doux, il migre d'ordinaire pour hiverner dans le Sud de la France. L'hivernage d'individus dans le Sud de la Bourgogne pourrait être directement lié à l'augmentation des températures hivernales (Oreb, 2005). De manière globale, 96 des 435 espèces qui se reproduisent en Europe ont avancé leur aire de distribution vers le nord ou le nord-ouest depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, contre seulement 32 qui se sont retirées vers le sud ou le sud-est (Archaux, 2003).

Le déplacement des aires de répartition n'est pas la seule réponse

des oiseaux aux modifications climatiques de leurs milieux. Ainsi, les stratégies migratoires sont également remises en cause, de même que les traits d'histoire de vie et les interactions interspécifiques (Archaux, 2003).

La migration des oiseaux leur permet de changer de milieu quand les conditions locales ne leur conviennent plus. Par exemple, les oiseaux insectivores passent l'hiver dans des contrées méridionales quand les insectes ne sont plus présents au nord. Les adaptations migratoires aux modifications climatiques peuvent être diverses :

- décalage des dates de départ ou de retour (avec un allongement de la durée passée sur les territoires de reproduction) ;
- diminution des distances migratoires ou choix d'autres sites d'hivernage ;
- sédentarisation pure et simple (le risque de mortalité hivernale peut devenir moins coûteux qu'une migration épuisante, grâce au réchauffement).

Si la douceur des hivers limite la mortalité des espèces sédentaires, l'accentuation des sécheresses africaines accroît la mortalité des migrants transsahariens.

Le changement climatique peut intervenir sur la période de ponte. Une étude anglaise a montré qu'entre 1975 et 1995, de nombreuses

espèces ont avancé leur date de ponte du premier œuf. Pour certaines espèces, l'anticipation peut aller jusqu'à une dizaine de jours. Cet avancement de la date de ponte peut être mis en relation avec le besoin d'une alimentation importante au moment d'élever les jeunes. En effet, la coïncidence entre la période de nourriture abondante et l'élevage des jeunes doit être bonne pour la survie de la nichée. En Angleterre, les chenilles dont se nourrissent les mésanges bleues (*Parus caeruleus*) sont abondantes plus tôt en saison en raison du changement climatique (augmentation de la température). Or, le développement des jeunes mésanges ne pouvant être plus rapide, les oisillons sont moins bien nourris, moins nombreux à quitter le nid et en moins bonne santé.

Un problème analogue a été mis en évidence pour le Gobemouche noir (*Ficedula hypoleuca*) par des chercheurs néerlandais. Le pic de présence des chenilles est plus tôt en saison et ce migrateur n'a pas pu adapter en conséquence sa période de reproduction.

Comme pour les insectes, les espèces des milieux froids ou montagneux (Lagopède alpin, *Lagopus mutus* ou Grand tétras, *Tetrao urogallus*) sont *a priori* les plus concernées par les risques liés au réchauffement. Une accentuation des déséquilibres climatiques pourrait cependant compliquer les chances de survie pour bien d'autres espèces.

## Flore

S'il est possible de mettre en relation l'évolution de la répartition ou de la biologie de certaines espèces animales, c'est également possible pour la flore. Cependant, les relations de cause à effet ne sont pas toujours évidentes à prouver et le réchauffement climatique peut même parfois être invoqué à tort. Cependant, il apparaît que les sécheresses constituent le principal facteur déclenchant des dépérissements d'essences forestières en France (Nageleisen, 2005). Cela signifie que les périodes de sécheresse affaiblissent les peuplements et

facilitent ainsi le développement de parasites comme certains insectes sous-corticaux.

### Le Houx progresse dans les Ardennes

Il existe quelques cas avérés de modifications conséquentes de la flore en raison du réchauffement. Par exemple, le Houx (*Ilex aquifolium*, L.) est une espèce à affinités atlantiques (Rameau *et al.*, 1989). Entre deux passages successifs de l'inventaire forestier national dans le Nord des Ardennes (séparés de onze ans), sa fréquence est passée de 8,5% des relevés à 20,6% (Cluzeau *et al.*, 2001 ; figure 12). La pro-

gression de cette espèce atlantique va dans le même sens que la diminution de la valeur moyenne du coefficient K d'Ellenberg qui traduit le degré de continentalité du climat, entre les deux passages.

Même si les changements non aléatoires de végétation constatés entre deux cycles d'inventaire sont certainement dûs à plusieurs causes (il y a aussi une progression des espèces nitrophiles et acidiphiles et surtout des espèces plus héliophiles en raison d'une certaine ouverture des peuplements), l'extension du Houx en limite de son aire de répartition est probablement une des premières manifestations de l'im-

pact du réchauffement climatique sur les espèces végétales en France. Des travaux analogues ont montré par exemple des remontées en altitude et des déplacements vers les versants froids d'espèces dans l'étage subalpin du Briançonnais, ou la migration d'espèces montagnardes vers les étages supérieurs dans les Alpes suisses (Bodin *et al.*, 2007).

### Les arbres poussent plus rapidement

Un autre phénomène a intrigué les chercheurs qui ont étudié les cernes des arbres (dendrochronologie) au début des années 1980. Depuis 1850, la sapinière vosgienne avait connu une forte augmentation de la croissance radiale des arbres (Lebourgeois, 2005 ; figure 13). Des études analogues ont été réalisées par la suite (Sapin dans le Jura, Chêne sessile sur le Plateau lorrain...). Elles vont toutes dans le sens d'une augmentation de la croissance en diamètre des arbres (celle-ci se chiffre par un gain le plus souvent compris entre +50 et +100%). Un gain de croissance en hauteur a également été démontré.

Il n'est pas facile de hiérarchiser les causes de tels gains de production. Au-delà des incertitudes expérimentales et des biais dans les plans d'échantillonnage, il est possible de citer :

- des modifications de la sylviculture (éclaircies plus intenses, régénération plus active...);
- une amélioration de la fertilité des sols après des périodes d'exploitation intensive (taillis simple à courte rotation, soutrage de la litière...);
- des facteurs environnementaux comme la présence de dépôts azotés, l'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone (utilisé pour la photosynthèse), l'augmentation de la durée de la saison de végétation (ouverture précoce des bourgeons et chute des feuilles plus tardive) liée à l'augmentation des températures...

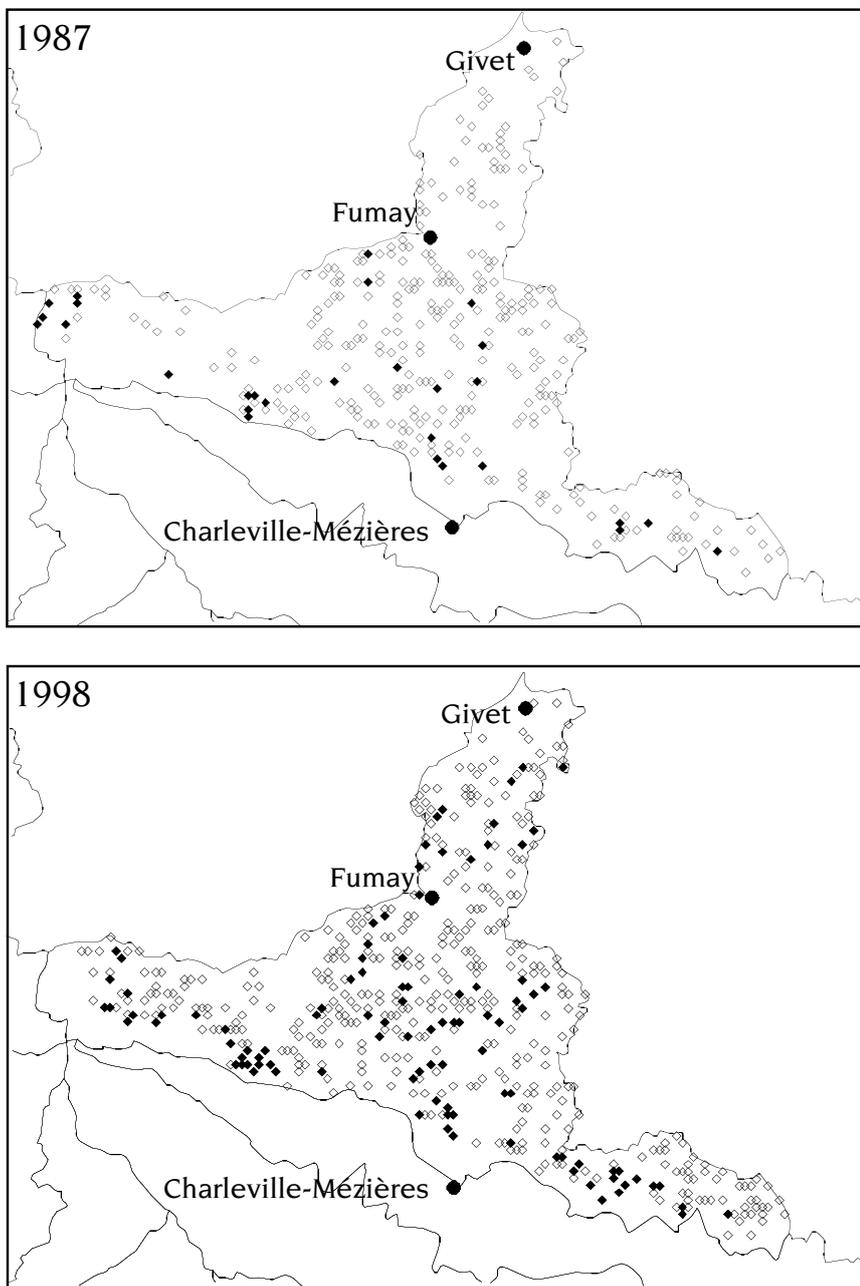


Fig 12. Progression du Houx entre deux passages de l'inventaire forestier national en Ardenne primaire. Losange noir : point de sondage sur lequel le Houx est présent ; losange clair : absence du houx dans le relevé de végétation (Cluzeau *et al.*, 2001).

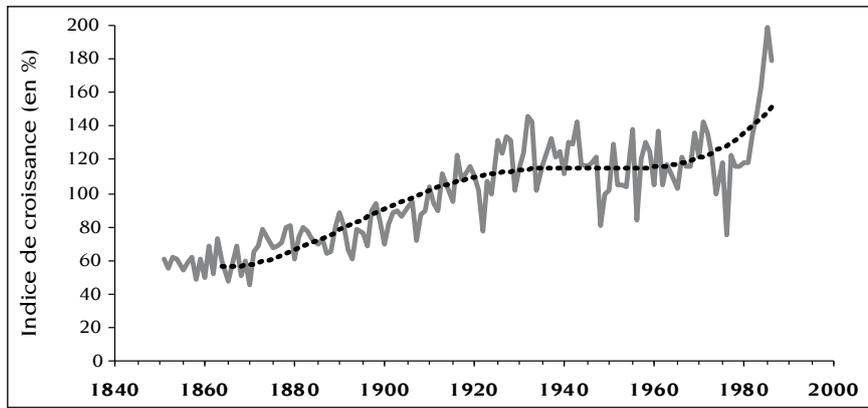


Figure 13. Augmentation de la croissance radiale (en surface terrière) du Sapin pectiné (*Abies alba*, Mill) dans les Vosges (d'après Becker et al., 1994 in Lebourgeois, 2005).

Ce sont vraisemblablement les facteurs globaux environnementaux qui expliquent la plus grande part des gains de productivité. Ainsi, changement climatique, dépôts azotés et augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dopent depuis un siècle la croissance des arbres.

#### Les pins de zone méditerranéenne aux avant-postes

En zone méditerranéenne, les peuplements de Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*, L.) et de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*, Mill.) connaissent depuis un siècle une modification de leur productivité (Vennetier *et al.*, 2005; figure 14).

Le Pin sylvestre est le résineux le plus répandu dans l'arrière-pays méditerranéen où il occupe environ 300 000 ha. Il trouve dans cette région la limite inférieure de son aire de répartition au niveau européen. Une étude des cernes d'accroissement de cette essence a été réalisée dans le massif de la Sainte-

Baume (entre 450 et 1100 m d'altitude). Elle montre que la productivité de cette essence :

- a fortement chuté depuis un siècle en altitude (entre 700 et 1100 m) et que les peuplements, initialement adaptés à des conditions plus fraîches et moins sèches, ont souffert, notamment depuis 2003 ;
- s'est maintenue, voire a légèrement augmenté dans les peuplements de basse altitude (inférieure à 700 m). Elle y était cependant initialement très faible.

Une année exceptionnelle comme 2003 a eu un effet sur le Pin sylvestre (photo 3), quelle que soit l'altitude des peuplements ce qui montre que même les populations de basse altitude, génétiquement adaptées à des conditions climatiques difficiles, ont dépassé leur seuil de tolérance thermique.

Étant donnée la chute de production d'une bonne partie des populations de Pin sylvestre et leur mauvais état de santé, il est fort probable qu'il ne sera pas nécessai-

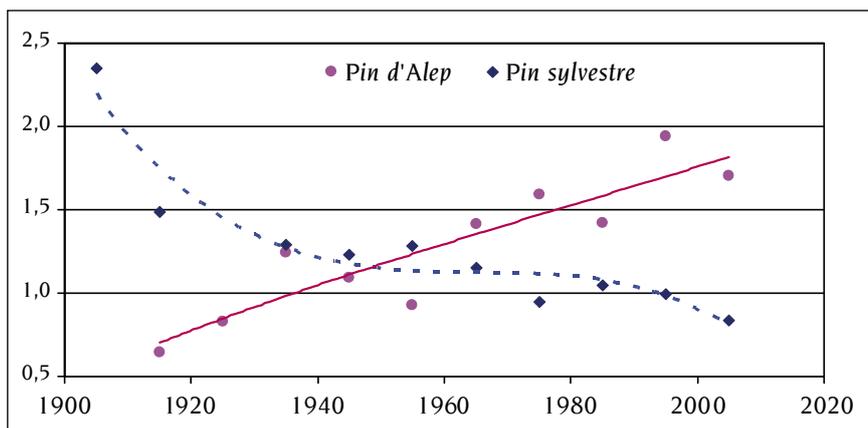


Figure 14. Variations d'un indice de croissance pour le Pin d'Alep et le Pin sylvestre au cours du dernier siècle (Vennetier *et al.*, 2005).

re d'attendre la fin du siècle avant de constater des dépérissements massifs. Connaissant la place prise par cette essence dans l'arrière-pays, les paysages et les écosystèmes seront très significativement bouleversés.

Le Pin d'Alep est quant à lui un résineux typiquement méditerranéen qui aime la chaleur. Contrairement au Pin sylvestre, sa productivité a augmenté au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Les modèles indiquent que sa croissance devrait encore augmenter pendant quelques décennies, mais devrait ensuite baisser comme celle du Pin sylvestre après un durcissement annoncé des conditions climatiques.

### Quelles évolutions pour la végétation ?

Les informations relatives aux milieux naturels collectées jusqu'à présent convergent vers une modification profonde des écosystèmes. Des modifications de grande ampleur concernant les possibilités de production ou même la vitalité des êtres vivants étant possible, on tente de prévoir ce qui risque de se passer. Cela est notamment le cas dans le monde forestier où contrairement aux milieux agricoles, les délais de production sont particulièrement longs (plusieurs dizaines d'années, au minimum). Un jeune chêne planté aujourd'hui connaîtra dans le futur un climat différent.

#### Quel avenir pour nos forêts ?

Des travaux de recherche forestière ont tenté de clarifier quelles pourraient être les aires potentielles de répartition dans un siècle (Badeau *et al.*, 2005). Pour cela, des modèles mettant en relation climat actuel et présence de diverses essences ont été construits. Les données issues des modèles climatiques sont ensuite introduites pour voir quelle sera l'aire de répartition potentielle dans un siècle. Le cas du Hêtre (*Fagus sylvatica*, L.) est présenté en figure 15. Cette essence courante aux environs de Reims pourrait y être rarissime dans un siècle. Une diminution analogue d'aire potentielle

est annoncée également pour le Sapin pectiné (*Abies alba*, Mill). En revanche, une essence méditerranéenne comme le Chêne vert (*Quercus ilex*, L.) pourrait avoir dans le futur une aire de répartition beaucoup plus vaste. De manière générale, ces travaux font apparaître à l'horizon de la fin du siècle :

- une expansion vers le nord de l'aire des essences méditerranéennes (Pin d'Alep, Genévrier oxycèdre) et des essences atlantiques vers le nord et vers l'est (Pin maritime, Chêne tauzin...);
- une réduction plus ou moins forte des aires des essences de l'étage subalpin (Pin cembro, Pin à crochets...), de l'étage montagnard (Érable à feuilles d'obier, Aulne blanc...) et des essences présentes à la fois en montagne et dans le quart nord-est (Sapin pectiné, Épicéa commun, Sorbier des oiseleurs...);
- une restriction aux zones de montagne ou en quelques rares endroits du quart nord-est des essences actuellement présentes en moyenne montagne ou en plaine dans le quart nord-est (Hêtre, Érable plane, Érable sycomore...);
- une contraction et un déplacement vers l'est de l'aire des essences communes dans les plaines et collines du sud et de l'ouest (Châtaignier, Néflier...).

De telles cartes frappent les esprits, sachant d'autant plus que le scénario socio-économique retenu (B2) est loin d'être le plus pessimiste. Il faut garder à l'esprit :

- qu'il s'agit de travaux qui s'appuient sur un certain nombre de modèles (modèles climatiques, modèles de répartition des essences...) qui ne représentent qu'imparfaitement la réalité ou les évolutions potentielles;
- que les données locales : mésoclimat (versants sud ou nord), conditions de milieu (nature de la roche-mère, profondeur de sol, richesse en éléments minéraux...) ne sont pas prises en compte;
- que seul le scénario d'évolution B2 est utilisé (ce serait pire avec d'autres).

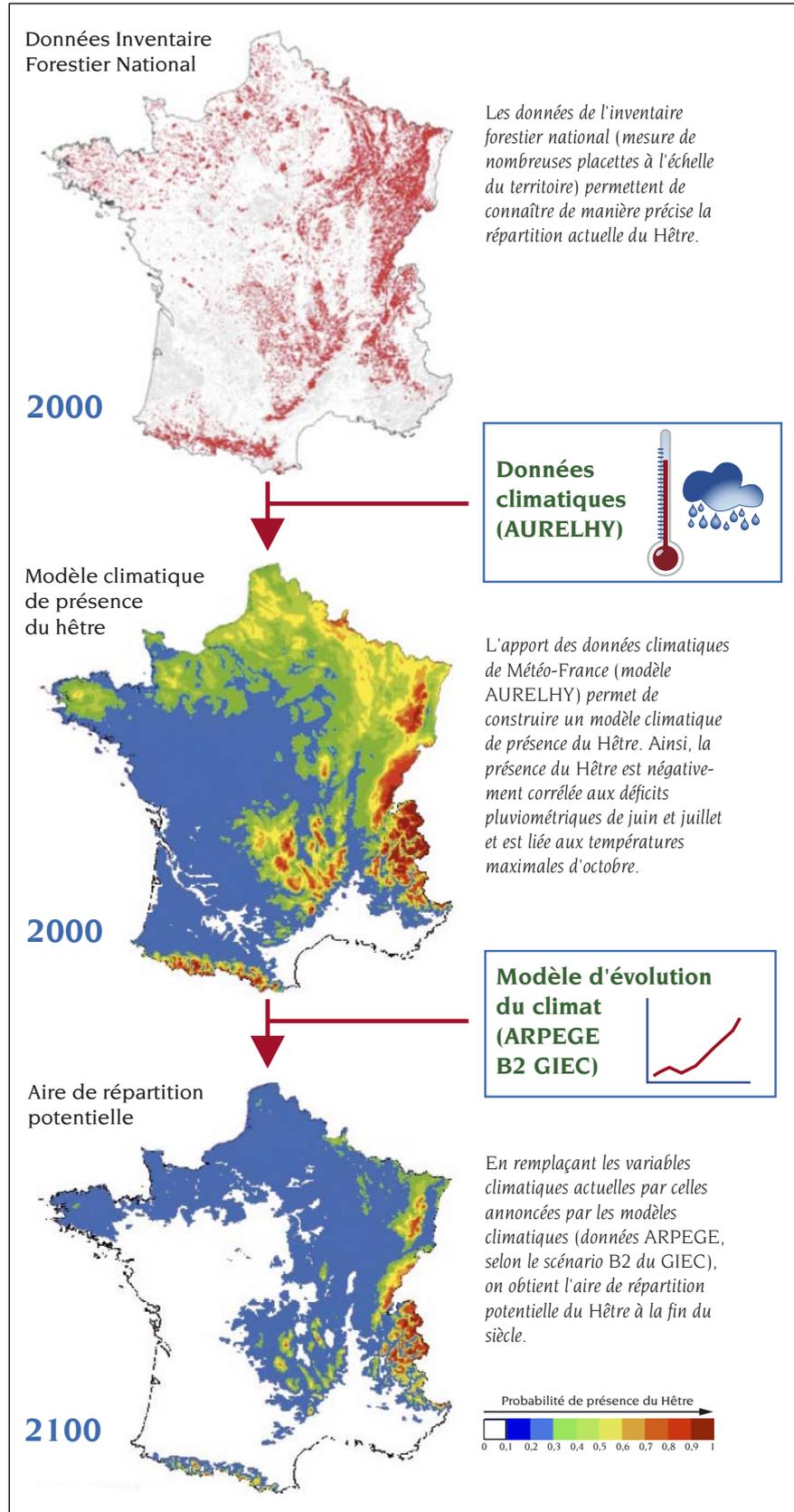


Figure 15. Méthode suivie pour définir l'aire de répartition potentielle du Hêtre (d'après Badeau et al., 2005)

Ce qui est cartographié est une aire de répartition potentielle. Autrement dit, ce n'est pas une prédiction de ce qui sera observé. Bien entendu, la végétation aura du mal à naturellement migrer aussi rapidement (que ce soit les espèces li-

gneuses ou les espèces herbacées). De plus, les équilibres entre végétation et pathogènes ou entre végétation et symbiotes risquent d'être fortement modifiés.

Un autre facteur à prendre en compte est la variabilité génétique

des essences forestières. Ont-elles des capacités d'adaptation qui leur permettront de s'acclimater à certaines évolutions du climat (températures, précipitations...)?

### Comment anticiper les changements à l'échelle d'un massif forestier

Si les travaux nationaux donnent une aire de répartition potentielle en fonction des modèles de climat à venir, ils ne tiennent pas compte des paramètres locaux. Ainsi le mésoclimat intervient localement sur la distribution des essences forestières. Sur les Plateaux calcaires de l'Aube et de la Haute-Marne par exemple, les versants nord aux conditions fraîches et humides portent des peuplements à Hêtre dominant (hêtraie à dentaire; Milard, 2004). En revanche, les versants caillouteux orientés au sud portent des peuplements rabougris dominés par le Chêne pubescent (Milard, 2004).

La nature du sol intervient également fortement dans la répartition des végétaux. Ainsi, si une essence comme le Châtaignier pourrait, climatiquement parlant, voir son aire de répartition s'étendre vers le nord et l'est, elle ne pourra pas s'implanter en Champagne crayeuse, en raison de la forte carbonatation des sols.

Pour tenter de répondre au moins partiellement au devenir des peuplements forestiers et de guider au mieux les gestionnaires forestiers dans leurs planifications, une méthode pour anticiper au mieux les choix d'essences a été proposée (Gaudin, 2007). Ainsi, si la connaissance du climat régional et de son évolution est fondamentale, celle des conditions locales intervient aussi pleinement (figure 16).

L'unité stationnelle<sup>ii</sup> 5 et la 3 diffèrent essentiellement par leur sol. Celui de la 5 (placage de limon épais sur argile) a une bonne réserve en eau alors que celui de la 3 (argiles de décarbonatation peu

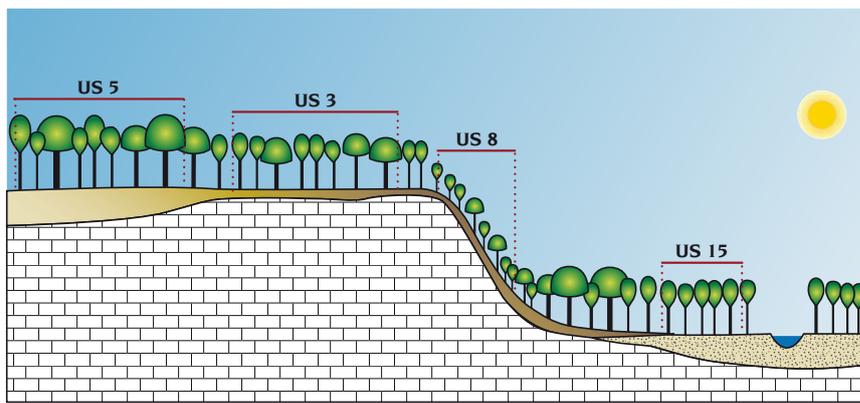


Figure 16. Exemple de toposéquence synthétique des Plateaux calcaires sur laquelle quatre unités stationnelles ont été différenciées (Gaudin, 2008).

épaisses sur calcaire dur) sèche rapidement. Le Hêtre est pour l'instant dominant sur ces deux stations. Il y aura plus de chance de maintenir une bonne production de Hêtre sur la 5 que sur la 3 avec un réchauffement du climat. La station 8 est une chênaie pubescente sur versant sud caillouteux. Les conditions y sont déjà très difficiles pour la végétation et la composition de ce peuplement ne devrait pas évoluer de façon conséquente. L'unité stationnelle 15 est une aulnaie-frênaie de bord de cours d'eau. Si le régime hydrique actuel se maintient, cette station devrait porter les mêmes essences car l'alimentation en eau par la nappe devrait compenser le manque de précipitations estivales.

### Conséquences pour les écosystèmes terrestres

Même si beaucoup d'inconnues subsistent encore en ce qui concerne le changement climatique et ses effets, les nouvelles aires potentielles de distribution de la végétation ligneuse induisent de nombreuses interrogations. En effet, les changements ne concerneront pas que les arbres, mais aussi le cortège de plantes du sous-bois et tous les animaux associés. Par ailleurs, au delà des forêts, d'autres formations végétales (prairies, milieux humides, tourbières...) ont des fonctionnements étroitement liés au climat.

Pour tous les milieux, même si les conséquences climatiques sont moins importantes que prévu, les

bouleversements risquent d'être considérables. Ainsi, trente pour cent des espèces pourraient disparaître en Europe à l'horizon de 2050 (Bakkenes, 2002 in Legay et al., 2007).

Beaucoup d'espèces d'intérêt patrimonial sont des espèces en limite d'aire ou des reliques glaciaires. Par exemple, les quelques stations de Lunaria vivace (*Lunaria rediviva*, L.) de Haute-Marne pourraient souffrir rapidement du réchauffement.

D'autres profonds changements climatiques ont déjà eu lieu par le passé, mais l'échelle de temps en cause était totalement différente. Les possibilités d'adaptation risquent d'être insuffisantes avec des changements aussi rapides.

L'Homme pourra également intervenir dans les grandes perturbations à venir. Par exemple, il est tentant d'implanter dès à présent des espèces adaptées à des climats plus chauds et plus secs. Cela n'est pas sans risque. En effet, des espèces adaptées à des climats chauds plantées ces prochaines années pourraient connaître de sérieux coups de gel avant que le climat ne leur soit réellement favorable. De plus, l'introduction en masse de nouvelles espèces n'est jamais sans danger pour les écosystèmes en place (caractère invasif de certaines espèces qui font disparaître les espèces autochtones, par exemple).

ii – Une unité stationnelle ou station forestière est une surface homogène dans ses conditions de milieu (topographie, nature du sol, exposition...).

## Quelles politiques de conservation ?

L'érosion de la biodiversité est forte de nos jours. Au pillage des espèces, à la modification ou la destruction des milieux naturels, à la pollution, à la banalisation des paysages s'ajoute désormais la lourde menace climatique. Il apparaît illusoire de vouloir conserver certains milieux ou certaines espèces devant de telles menaces.

Cependant, il ne faut pas imputer toutes les disparitions d'espèces aux changements climatiques. La pollution, la surexploitation ou la dégradation des milieux naturels restent encore des causes primordiales de déclin. Les politiques de maintien de la biodiversité doivent être revues en profondeur car elles n'intègrent pas pour l'instant la composante climatique. Ainsi, un arrêté préfectoral de protection de biotope a une efficacité toute relative sur le climat. Même si un réseau comme Natura 2000 est mis en avant pour sauvegarder la biodiversité, y compris en tenant compte du climat (Commission européenne, 2007), il n'a pas initialement été conçu pour cela.

De manière générale, l'intégration des menaces climatiques doit se faire dans toutes les actions de protection de l'environnement. De plus, les autres aspects de la protection des espèces et des milieux doivent être renforcés pour tenter de compenser encore plus les facteurs actuels d'érosion qui risquent d'être amplifiés par les risques climatiques.

## Quelles solutions ?

### Le stockage du carbone ?

Le carbone est présent sous différentes formes (carbonates, dioxyde de carbone, matière organique...) dans de nombreux compartiments (atmosphère, océans, sédiments, végétation, sols). On nomme « puits de carbone » tout compartiment qui peut en absorber. Par exemple, les arbres consomment lors de la photosynthèse du CO<sub>2</sub> atmosphérique

et une partie du carbone est fixée dans le bois. Ces puits réagissent déjà à l'accroissement de la teneur en dioxyde de carbone. Les équilibres entre les sources et les puits sont complexes. Le changement climatique aura sans aucun doute des conséquences sur le cycle du carbone.

Une des façons de diminuer le réchauffement climatique est de libérer moins de gaz à effet de serre. Pour cela, la solution d'enfouir dans des couches géologiques profondes le gaz carbonique issu de la combustion des énergies fossiles a été émis (Socolow, 2007). Cela revient à créer artificiellement un nouveau puits de carbone. Si cette solution apparaît techniquement possible, elle ne peut concerner que des sources localisées et conséquentes d'émission de gaz (centrales électriques, industries...) et non pas les transports ou les logements individuels. De plus, le coût énergétique d'une telle solution n'est pas négligeable. Ainsi, 10 à 20% de l'énergie produite par une centrale électrique serait utilisée pour l'enfouissement du CO<sub>2</sub>. Au-delà du coût, les risques de fuite ne sont pas non plus nuls.

### La géoingénierie ?

Certains scientifiques ont imaginé des dispositifs pour refroidir la terre ou du moins, empêcher qu'elle ne se réchauffe trop (Sciama, 2007). Par exemple, l'envoi de ballons d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) dans l'atmosphère provoquerait la formation de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), ce qui limiterait le rayonnement solaire. Une autre façon de limiter le rayonnement serait la mise en orbite de petits miroirs. La mise en place de voiles réfléchissants au-dessus des océans ou de la terre a été évoquée pour augmenter l'albédo et limiter le réchauffement.

Ces projets sont généralement particulièrement coûteux, parfois fantaisistes et peuvent présenter des risques importants. Par exemple, si la solution de l'envoi de miroirs spatiaux fonctionnait trop bien (diminution de l'énergie solaire trop forte), comment serait-il

possible de les récupérer ? Les problèmes liés au climat qui sont annoncés conduisent certains à vouloir jouer les apprentis sorciers.

### Economies d'énergie et autres modèles de consommation

Si quelques solutions proposées sont hasardeuses, une seule certitude existe : en diminuant fortement nos émissions de gaz à effet de serre, nous pouvons limiter l'impact du réchauffement climatique. L'épuisement des ressources d'énergies fossiles (gaz, pétrole et charbon) est d'ores et déjà une raison suffisante pour limiter notre consommation et rechercher au maximum les économies d'énergie. Le fait que la combustion de ces hydrocarbures rejette du dioxyde de carbone doit nous conduire à réagir encore plus et encore plus rapidement.

De mauvaises habitudes ont été prises dans les pays développés et l'énergie est très souvent gaspillée. La consommation d'énergie est partout dans notre vie quotidienne :

- dans les transports, bien entendu ;
- dans le chauffage des logements et tous les appareils électriques ;
- dans les usines qui produisent nos produits manufacturés ;
- dans notre alimentation...

Des progrès importants peuvent être faits dans de nombreux secteurs. Par exemple, il est possible de construire des maisons beaucoup plus économes, plus saines et respectueuses de l'environnement sans pour autant sacrifier au confort (Courgey et Oliva, 2006). Les maisons bioclimatiques optimisent l'énergie solaire reçue et limitent au maximum les pertes d'énergie.

Les adaptations sont plus difficiles dans le domaine des transports, notamment automobile. Même si les pays européens n'en sont pas au niveau des Etats-Unis, les habitudes de mobilité individuelle ou de transport routier qui ont été prises sont profondément ancrées.

En réponse à l'inertie et au poids des habitudes, il apparaît que seu-

le une *augmentation* continue du coût de l'énergie conduira à réelement revoir notre mode de vie et à réaliser des économies d'énergie. Si cette augmentation est difficile à assumer et nécessitera des aménagements sociaux, elle semble préférable à moyen et long terme au fonctionnement actuel ; « *Il est plus souhaitable de payer la prime d'assurance aujourd'hui que d'avoir à assumer le coût du sinistre plus tard* »<sup>iii</sup>. En toute rigueur, nous ne payons pas actuellement l'énergie à son coût réel en n'y intégrant pas les conséquences des émissions de gaz à effet de serre.

En conclusion, le réchauffement climatique est une réalité, même si nous ne connaissons pas encore tous les mécanismes et si nous ne faisons qu'entrevoir les conséquences qui en résulteront. Les effets sur les espèces et les milieux peuvent paraître secondaires comparés à d'autres problèmes possibles ou probables des changements annoncés (déficit énergétique, réduction de la croissance, santé humaine, risques de conflits...). Il faut cependant garder à l'esprit que beaucoup de facteurs s'entrecroisent et qu'au-delà de la volonté de sauvegarder un minimum de biodiversité pour des raisons éthiques, le main-

tien de milieux naturels fonctionnels peut avoir des relations fortes avec les activités humaines. Les phénomènes étant encore mal connus, il serait tentant d'attendre en prétextant que ce qui est annoncé est alarmiste. Les premières modifications constatées nous révèlent que même si nous ne nous situons que dans la frange la plus basse des estimations, les conséquences ne seront déjà pas négligeables... Il faut trouver un juste équilibre entre faire des efforts pour réduire au minimum le réchauffement et anticiper les changements inéluctables à venir.

---

<sup>iii</sup> – Jean-Marc Jancovici sur France-Inter  
(consulter aussi <[www.manicore.com](http://www.manicore.com)>)



Photo 1. Libellule écarlate (Crocothemis erythraea ; Brullé, 1832). Cette espèce bénéficie du réchauffement climatique et progresse vers le nord. Photo Sylvain Gaudin.

Photo 2. Apollon (Parnassius apollo, L.) photographié sur le Puy de Dôme. Cette espèce montagnarde est en déclin. Photo Sylvain Gaudin.



Photo 3. Pin sylvestre (Pinus sylestris, L.) victime de la chaleur et de la sécheresse en zone méditerranéenne. Les aiguilles sont moins nombreuses (une année d'aiguilles au lieu de trois ou quatre) et plus courtes. Cette photo prise en mai 2007 montre qu'une année très difficile comme 2003 peut avoir des conséquences durables sur cette essence. Photo Sylvain Gaudin.



## Bibliographie

- Ademe, 2005 – Quel temps fera-t-il demain ? Le changement climatique. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, www.ademe.fr, 32 p.
- Archaux F., 2003 – Avifaune et changement climatique. Vie et milieu, vol. 53, n°1, pp.33-41.
- Badeau V., Dupouey J.-L., Cluzeau C. et Drapier J., 2005 – Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100. Forêt-Entreprise n°162, pp. 25-29.
- Bodin J., Dupouey J.-L. et Badeau V., 2007 – Changements observés de la végétation au cours du XXe siècle : quel impact du réchauffement climatique ? Résumé de l'intervention au colloque Géoflore, Floraine, 1 p. (<www.nancy.inra.fr/floraine/textes/bodin.pdf> consulté le 14 XII 08).
- Bouhot-Delduc L., 2005 – Dynamique des populations de la processionnaire du pin et extension de son aire de colonisation de 1981 à 2004 en France. Département de la santé des forêts, Ministère de l'agriculture, 6 p.
- Cluzeau C., Dupouey J.-L., Drapier J. et Virion R., 2001 – Étude des modifications à long terme de la végétation forestière à partir des données de l'IFN. Revue Forestière Française, LIII, n°3-4, pp. 413-419.
- Commission européenne DG ENV, 2007 – Biodiversité et changement climatique, le rôle du réseau Natura 2000. Lettre d'information Natura 2000, n°22, juin 2007, 16 p.
- Courgey S. et Oliva J.-P., 2006 – La conception bioclimatique, des maisons confortables et économes. Terre vivante, Mens, 239 p.
- Debroise A., 2007a – Le climat a déjà menacé le vivant. Science & Vie, hors-série Climat, le dossier vérité, septembre 2007, pp. 29-34.
- Debroise A., 2007b – Comment le climat est mis en boîte ? Science & Vie, hors-série Climat, le dossier vérité, septembre 2007, pp. 46-48.
- Descimon H., 1995 – La conservation des Parnassius en France : aspects zoogéographiques, écologiques, démographiques et génétiques. Rapport d'études de l'OPIE, vol. 1, janvier 1995 (<http://www.inra.fr/opie-insectes/re-parnass.htm> vu le 14 XII 08).
- Ducoussou A. et Déqué M., 2005 – Augmentation de l'effet de serre : constatactions et prévisions. Forêt-Entreprise n°162, pp. 15-19.
- Gaudin S., 2007 – Prise en compte du changement climatique dans les guides et catalogues de stations : première approche. CRPF de Champagne-Ardenne, Châlons en Champagne, 16 p. et annexes.
- Gaudin S., 2008 – La prise en compte des changements climatiques dans les guides de stations. Forêt-Entreprise n°180, pp. 34-39.
- Goffart Ph. et R. de Schaetzen, 2001 – Des libellules méridionales en Wallonie : une conséquence du réchauffement climatique. Forêt wallonne, n°51, mars/avril 2001, pp. 2-5.
- Grand D. et Boudot J.-P., 2006 – Les libellules de France, Belgique et Luxembourg. Biotope, Mèze (France), Collection Parthénope, 480 p.
- Lafranchis T., 2000 – Les papillons de jour de France, Belgique et Luxembourg et leurs chenilles. Biotope, Mèze (France), Collection Parthénope, 448 p.
- Lebourgeois F., 2005 – Augmentation de la productivité des forêts françaises : bilan actuel et conséquences prévisibles. Forêt-Entreprise n°162, pp. 30-34.
- Legay M., Mortier F., Mengin-Lecreulx P. et Cordonnier Th., 2007 – La forêt face au changement climatique : adapter la gestion forestière. Silva Belgica, n°114, 6/2007, pp. 20-27.
- Le Treut H., 2007 – Certitudes et incertitudes des modèles. Pour la Science, dossier : climat, comment éviter la surchauffe, janvier-mars 2007, pp. 10-15.
- Milard L., 2004 – Les Plateaux calcaires de Champagne-Ardenne et du Nord et de l'Est de la Bourgogne. Guide pour l'identification des stations et le choix des essences. CFPPA de Croigny, 116 p.
- Monnier E., 2007 – Inconnue n°1 : les activités humaines. Science & Vie, hors-série Climat, le dossier vérité, septembre 2007, pp. 57-64.
- Moisselin J.-M. et Dubuisson B., 2007 – Coup de chaud sur la France. Pour la Science, dossier : climat, comment éviter la surchauffe, janvier-mars 2007, pp. 30-33.
- Nageleisen L.-M., 2005 – Les sécheresses, principal facteur déclenchant de dépérissement au cours du XXe siècle. Forêt-Entreprise n°162, pp. 35-37.
- Oreb, 2005 – La Bourgogne face aux changements climatiques. Observatoire régional de l'environnement en Bourgogne, Repères n°38, juin 2005, 12 p.
- Ozenda P., 1994 – Végétation du continent européen. Édition Delachaux et Niestlé, Lausanne-Paris, 271 p.
- Perrier C., Gaudin S. et Madesclaire A., 2007 – Guide pour l'identification et le choix des essences en Argonne. CFPPA de Croigny, Les Loges Margueron, 118 p.
- Rameau J.-C., Dumé G. et Manssion D., 1989 – Flore Forestière Française, Guide écologique illustré, tome 1 : plaines et collines, IDF, Paris, 1785 p.
- Robinet C., 2006 – Processionnaire du pin et réchauffement climatique : une approche par modélisation mathématique. La lettre du DSF, n° 33, mai 2006, p.4.
- Roussellet J., Robinet C. et Saintonge F.-X., 2005 – La chenille processionnaire du pin progresse avec le climat. Forêt-Entreprise n°162, pp. 38-41.
- Sciama Y., 2007 – Géoingénierie, la tentation du remède miracle. Science & Vie, hors-série Climat, le dossier vérité, septembre 2007, pp. 158-162.
- Socolow R., 2007 – Peut-on enterrer le réchauffement climatique ? Pour la Science, dossier : climat, comment éviter la surchauffe, janvier-mars 2007, pp. 88-93.
- Vennetier M., Vila B., Liang E.-Y., Guibal F., Ripert C. et Chandiooux O., 2005 – Impact du changement climatique sur la productivité forestière et le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne française. Ingénieries EAT n°44, pp. 49-61.
- Site du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) : <http://www.ipcc.ch/languages/french.htm> consulté le 22 I 2008.